

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavebná

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Výpočet tlačných síl při mikrotunelování s ohledem na priemery a typy pretlačovaných
trúb**

**Calculation of Forces of Microtunnelling Hydraulic Jacks with Regard to the Tube Type
and Diameter**

Študent:

Bc. Jakub Kostolný

Vedúci bakalárskej práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kostolný**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika
Téma: Výpočet tlačných sil při mikrotunelování s ohledem na průměry a typy
protlačovaných trub
Calculation of Forces of Microtunnelling Hydraulic Jacks with Regard to
the Tube Type and Diameter

Zásady pro vypracování:

Úvod
Současný stav protlačování trub metodou mikrotunelování
Geotechnické okolnosti determinující protlačování trub metodou mikrotunelování
Analýza mechaniky procesu protlačování trub prostředím
Návrh metody výpočtu tlačných sil
Příklad návrhu výpočtu tlačných sil
Porovnání skutečného průběhu tlačných sil s výpočtovým stavem.
Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Klepsatel, František; Raclavský, Jaroslav. *Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení*. Bratislava : JAGA, 2007. ISBN 978-80-8076-053-3.
Stein, Dietrich. *Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines*. Bochum : Stein&Partner Germany, 2005. ISBN 3-00-014955-4.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015




doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu, vrátane príloh, vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave 30.11.2015

.....

podpis študenta

Prehlasujem:

- bol som zoznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa úplne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci náboženských a občianskych obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského a § 60 – školské dielo,
- beriem na vedomie, že Vysoká škola banská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo ku svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu použiť (§ 35 odst. 3),
- súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO,
- bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bolo dohodnuté, že použiť svoje dielo –diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so schválením VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky),
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím s uverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave

Anotácia

Kostolný J.: *Výpočet tlačných síl pri mikrotunelovaní s ohľadom na priemery a typy pretlačovaných trúb*, Ostrava: VŠB – TUO, Diplomová práca, 2015, 55 s.

Diplomová práca sa zaoberá analýzou pretlačovania trúb pri výstavbe podzemných vedení a výpočtom tlačných síl pri mikrotunelovaní. Nakoľko existuje viacero metód na výpočet tlačných síl, cieľom práce nie je uviesť novú prevratnú metodiku, ale upresniť použitie mnou vybranej metódy. Úvodné kapitoly sa venujú rozdeleniu bezvýkopových metód. Nasledujúce kapitoly zobrazujú zvolenú metódu výpočtu tlačných síl a konkrétny príklad výpočtu tejto metódy.

Kľúčové slová: tlačná sila, mikrotunelovanie, pretlačovacie trúby, bezvýkopová technológia.

Annotation

Kostolný J.: *Calculation of Forces of Microtunnelling Hydraulic Jacks with Regard to the Tube Type and Diameter*, Ostrava: VŠB – TUO, Diploma thesis, 2015, 55 pages.

Diploma thesis deals with the analysis of the tube for the construction of underground lines and the calculation of jacking forces of Microtunnelling. There exist a lot of methods for calculation of forces in the world. The objective of diploma thesis is not introduce a new methodology but to specify the using of my chosen method. First chapters deal with the modes of trenchless methods. Another chapters show my chosen method of calculation of forces and the example of calculation this method.

Key words: jacking force, Microtunnelling, pipe jacking, trenchless technology.

OBSAH

ZOZNAM POUŽITÉHO ZNAČENIA	8
1 Úvod	9
2 Súčasný stav bezvýkopových technológií	12
2.1 Rozdelenie bezvýkopových metód výstavby podzemných vedení	13
3 Výstavba podzemných vedení metódami bez obsluhy na čelbe	16
3.1 Neriadené metódy bez obsluhy na čelbe	16
3.1.1 Metódy bez odberu zeminy	17
3.1.2 Metódy s odberom zeminy	18
3.2 Riadené metódy bez obsluhy na čelbe	18
3.2.1 Metódy s odberom zeminy	19
3.2.2 Metódy s roztlačovaním zeminy	20
4 Výstavba podzemných vedení metódami s obsluhou na čelbe	21
4.1 Razenie s použitím tunelovacích štítov	21
5 Mikrotunelovanie	22
6 Okolnosti determinujúce pretlačovanie trúb prostredím	24
6.1 Geologický prieskum	24
6.1.1 Metódy prieskumu	25
6.2 Materiál pretlačovaných trúb	26
6.2.1 Železobetónové trúby	27
6.2.2 Trúby z polymérbetónu	29
6.2.3 Trúby z kameniny	30
6.2.4 Trúby zo sklolaminátu	32

7	Analýza mechaniky procesu pretlačovania trúb prostredím	34
7.1	Pretlačovanie bez zmenšovania trenia.....	34
7.2	Pretlačovanie so zmenšovaním trenia	35
7.3	Pretlačovanie s použitím tlačných medzistaníc.....	35
7.4	Špeciálne metódy pretlačovania.....	36
8	Návrh metódy výpočtu tlačných síl.....	37
8.1	Metóda výpočtu tlačných síl.....	37
8.2	Výpočet maximálnej dovolenej tlačnej sily	38
8.3	Výpočet tlačnej sily pri pretlačovaní.....	38
9	Príklad návrhu výpočtu tlačných síl	43
9.1	Príklad výpočtu maximálnej dovolenej tlačnej sily	43
9.2	Príklad výpočtu tlačnej sily pri pretlačovaní.....	45
10	Orientačný výpočet únosnosti opornej steny	49
11	Záver.....	50
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	52
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	54
	ZOZNAM TABULIEK.....	55

ZOZNAM POUŽITÉHO ZNAČENIA

a pod. – a podobne

atd. – a tak ďalej

DN – svetlý priemer

ot. - otáčky

PE – polyetylén

PVC – polyvinylchlorid

ŽB - železobetón

1 Úvod

Posledné desaťročia minulého storočia boli pre väčšinu oborov v znamení ohromného technologického vývoja, behom ktorého sa podstatne zmenili. Táto technická revolúcia bola vo svete poháňaná tlakmi ekonomiky na znižovanie mzdových nákladov a výsledkami vedecko-technického skúmania, ku ktorým sa pridali prevratné novinky v oblasti elektroniky a dátovej techniky.

Takýto masívny vývoj nemohol nezasiahnuť obory podzemného staviteľstva a geotechniky, aj keď tu bola situácia zložitejšia ako v ostatných oblastiach. Jedinečnosť bola daná tradíciou hrubej baníckej práce a zložitou popísať konkrétne geologické prostredie. Napriek tomu bol aj tu prienik vedy a techniky nezadržateľný, tak sa začali presadzovať moderné metódy a odvetvia. Prišla mechanizácia výstavby tunelov s použitím Novej rakúskej tunelovacej metódy (NRTM) alebo s vývojom plnoprofilovacích tunelovacích strojov (TBM), rozvíjalo sa veľkopriemerové vŕtanie. Vznikli nové smery a podobory v rámci geotechniky, ako napríklad úprava vlastností hornín a zemín alebo bezvýkopové technológie.

Bezvýkopové technológie vznikali ako reakcia na nutnú, masívnu inštaláciu podzemných sietí a vedení, v už často prehustenom podzemnom priestore amerických, japonských a západoeurópskych miest a na potrebu zvýšenia efektivity týchto prác a zníženia celkových nákladov.

Bezvýkopové technológie boli vytvárané na základe skúseností z tunelovania alebo vŕtania, a preto sú dnešné stroje zmenšeninami plnoprofilovacích tunelovacích strojov (TBM) alebo kopírujú napríklad veľké vŕtacie súpravy. Vývoj v jednotlivých smeroch bol postupne adaptovaný a upravovaný na podmienky mestského prostredia a ďalej sa odvíjal na základe konkrétnych firiem a znalostí v jednotlivých krajinách.

Pre bezvýkopovú technológiu existujú tri základné prístupy – prístup strojárenský, geotechnický a prístup z pohľadu používateľa podzemného vedenia.

Z hľadiska strojárenského budú dôležité aspekty: tlačné a ťažné sily, krútiace momenty, odolnosť materiálu a pod.

Z hľadiska používateľa je dôležitý účel typu sietí. Prvoradé budú nasledujúce aspekty: dodržanie spádu a tesnosti spojov, druh použitého materiálu a pod.

Geotechnické hľadisko bude vychádzať z poznania geologického prostredia konkrétnej lokality, ktoré je vo veľkých mestách výzvou. Namiesto zdravého podložia, ktoré je v zásade jednoduchšie, je pre podložie veľkých miest bežná kombinácia rôznych zemín, úlomkov hornín, zvetraného skalného prostredia. Ďalším negatívom sú navážky, ktoré obsahujú ťažko predvídateľné zložky pozostávajúce z ľudskej činnosti, pozostatky starých inštalácií a sietí, ktoré sú často veľmi zle zdokumentované. Problém pri veľkých mestách, ktoré často ležia na pobrežiach a v blízkosti veľkých riek, je aj podzemná voda a jej vysoká hladina.

Ustanovenie bezvýkopových technológií, ako samostatného podoboru v oblasti podzemného staviteľstva, bol vo vyspelých krajinách v 80. rokoch výsledok ich masívneho vývoja, často chaotického.

Situácia v Českej republike bola do roku 1989 nulová, vďaka chýbajúcemu ekonomickému tlaku na znižovanie mzdových nákladov – štát mal naopak záujem udržať vysokú prezamestnanosť v robotníckych profesiách, a vďaka existujúcej bariére v prístupe k informáciám a novinkám zo západu.

Po roku 1989 nastala snaha rýchlo vyrovnať disproporciu. Mestá boli nútené investovať do infraštruktúry, čo využili firmy k nákupu modernej bezvýkopovej techniky. Geotechnici,

inžinieri a používatelia v krátkej dobre dohľadali to, čo zameškali v posledných desaťročiach, ale aj pokračovali vo vývoji techniky, ktorý sa nezastavil a nezastaví.

Táto snaha sa do značnej miery darila a stále darí, ale napriek tomu tu panuje nevyrovnanosť medzi projektantami, konštruktérmi a zhotoviteľmi.

Táto práca si kladie za cieľ sprehľadniť bezvýkopové technológie pre menej zdatných záujemcov a stanoviť určité jasné pravidlá pri ich výbere, návrhu, výpočte a používaní.

Práca by mala nielen prispieť k jednotnejšiemu a efektívnejšiemu plánovaniu, projektovaniu a zhotovovaniu bezvýkopových technológií, ale mala by byť aj určitým zadosťučinením tomuto oboru, v ktorom sa snúbi najmodernejšia technika s nutnosťou vysporiadať sa s neočakávanými zmenami geologického prostredia.

2 Súčasný stav bezvýkopových technológií

Obecne

Podzemné vedenia sú súčasťou technickej infraštruktúry (inžinierskych sietí), ktorých úlohou je zásobovať mestá a obce vodou, plynom, elektrickou energiou a teplom, zabezpečovať prenos informácií, odvod odpadných vôd atď. [7]

Inžinierske siete môžu byť do podlažia ukladané:

- oddelene v samostatných trasách,
- v spoločných trasách,
- v združených trasách (kolektory, technické chodby).

Podzemné vedenia sú líniové stavby realizované dvoma základnými spôsobmi:

- v otvorenom (paženom) výkope,
- bezvýkopovými metódami.

Podľa veľkosti priečneho profilu rozoznávame podzemné vedenia:

- neprielezných prierezov,
- prielezných prierezov (min. 1000 x 600 mm (v x š)),
- priechodných prierezov (min. 1500 x 600 mm (v x š)).

Kategorizácia vedení technickej infraštruktúry

Podľa funkčného a kapacitného významu a územnej pôsobnosti delíme vedenia technického vybavenia do štyroch kategórií:

- I. kategória – diaľkové vedenia obvykle celoštátneho alebo regionálneho významu (elektrické silové vedenia veľmi vysokého napätia, diaľkové vodovodné privádzače, diaľkové vysokotlakové plynovody, diaľkové telekomunikačné káble atď).
- II. kategória – hlavné napájacie a zásobovacie vedenia, ktoré zabezpečujú obsluhu sídlových útvarov, ale nemajú priamu väzbu na spotrebné objekty (privádzacie a hlavné vodovodné rady a kanalizačné zberače, elektroenergetické vedenia vysokého napätia, strednotlakové plynovody, telekomunikačné káble z ústredne do ústredne a pod).
- III. kategória – vedľajšie spotrebné a rozvodné pouličné vedenia, ktoré zabezpečujú obsluhu sídelných útvarov a môžu mať priamu väzbu na spotrebné objekty (rozvody elektrickej energie, plynovodné a vodovodné rozvody, rozvodné tepelné siete, pouličné kanalizačné stoky, vedenie miestnej telefónnej siete atď).
- IV. kategória – prípojky, ktoré zabezpečujú pripojenie spotrebiteľov na pouličné vedenie III. kategórie.

2.1 Rozdelenie bezvýkopových metód výstavby podzemných vedení

Podľa ČSN EN 12 889/2001 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení môžeme bezvýkopové metódy výstavby rozdeliť na:

- metódy s obsluhou a bez obsluhy na čelbe,
- metódy riadené a neriadené.

Prehľad bezvýkopových metód výstavby podzemných vedení podľa ČSN EN 12 889/2001 je uvedený na obr. 2.1, z ktorého je zrejmé, že za mikrotunelovanie sa považuje iba jednostupňová metóda zatlačovania potrubia, s diaľkovým riadením zo stanovišťa mimo potrubia, ktoré je ukladané bezprostredne za mikrotunelovacím strojom.

Odlišné rozdelenie bezvýkopových metód výstavby podzemných vedení je uvedené v Slovníku pojmu ve výstavbě (Raclavský, J., et al, 2004), vydaným Českou komorou autorizovaných inženýrov a techniků, kde sa mikrotunelovaním rozumie súhrn všetkých metód výstavby podzemných neprielezných vedení pomocou diaľkovo ovládateľných strojných zariadení bez obsluhy na čelbe.

Podľa tejto publikácie sa metódy mikrotunelovania delia na :

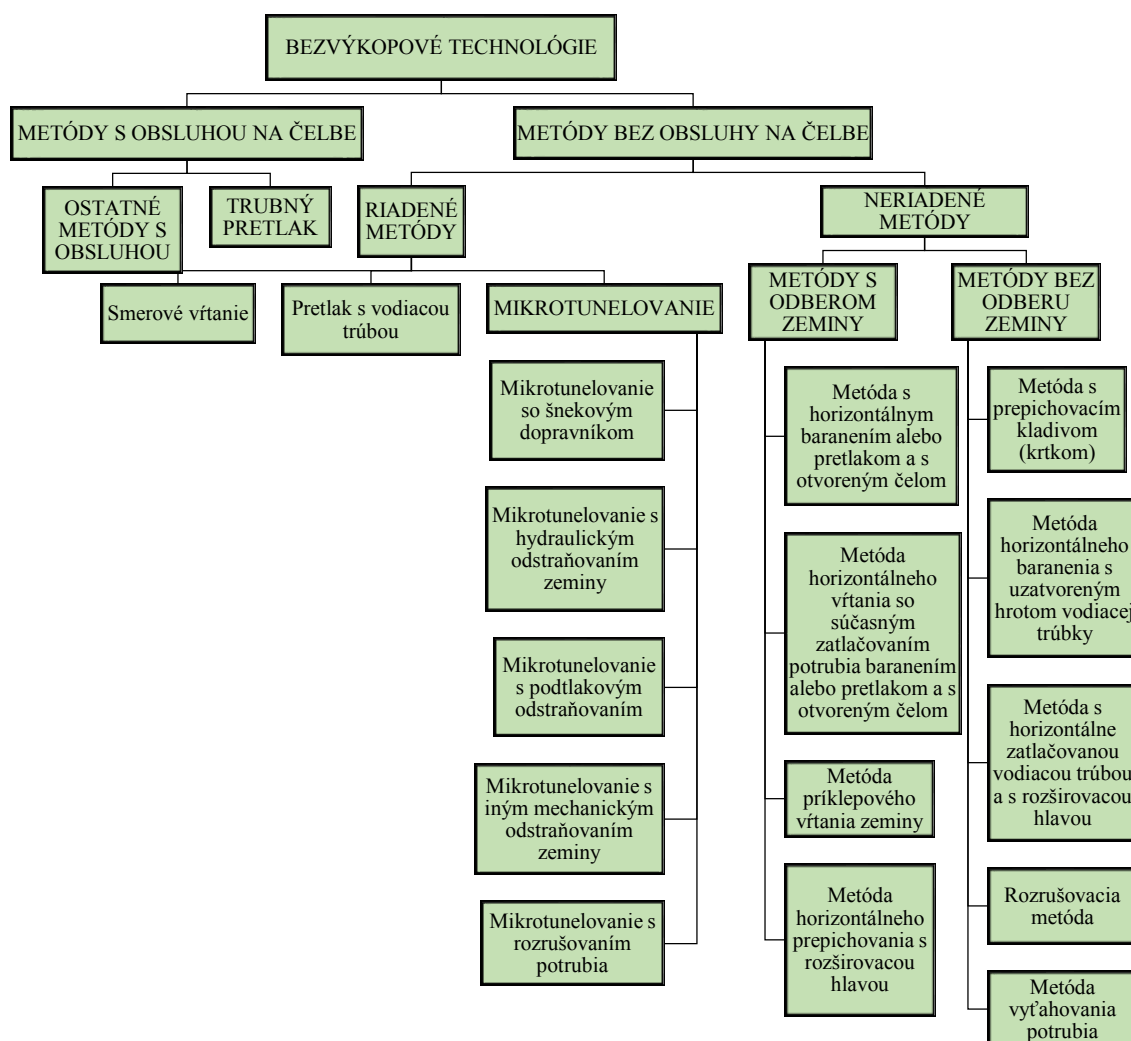
- metódy neriadeného mikrotunelovania (behom zabudovávania potrubia nie je možné korigovať smer):
 - prepichovanie,
 - horizontálne baranenie,
 - horizontálne vŕtanie,
 - vŕtanie s použitím vysokotlakovej kvapaliny;
- metódy riadeného mikrotunelovania (súpravy s diaľkovým ovládaním s možnosťou vyrovnania smerovej a výškovej odchýlky):
 - vŕtanie s vodiacim vrtom,
 - vŕtanie na plný prierez,
 - mikrotunelovanie s použitím štítov,
 - vŕtanie s použitím vysokotlakovej kvapaliny.

Pre bezvýkopovú výstavbu potrubných vedení prielezných a priechodzích prierezov s obsluhou na čelbe sa uvádza pojem minitunelovanie. Tieto metódy sa delia na :

- horizontálne vŕtanie ($DN \leq 1500 \text{ mm}$),
- hydraulické pretlačovanie ($DN \geq 1000 \text{ mm}$),
- razenie s použitím tunelovacích štítov,

- razenie s použitím plnoprofilovacích raziacich strojov (TBM),
- razenie s dočasnou výstrojou.

V práci bude používaná pre metódy bez obsluhy terminológia podľa ČSN EN 12 889 a pre metódy s obsluhou na čelbe podľa Slovníku pojmov ve výstavbě.



Obr. 2-1 Prehľad bezvýkopových metód výstavby podzemných vedení podľa ČSN EN 12 889/2001 [11]

3 Výstavba podzemných vedení metodami bez obsluhy na čelbe

Obecne

Metódy výstavby bez obsluhy na čelbe boli pôvodne určené len k výstavbe podzemných vedení neprielezných vedení ($DN \leq 1000$ mm), ale ďalší vývoj umožňuje ich využitie aj pre väčšie prielezné prierezy. [7]

Podľa možnosti kontroly a úpravy smeru sa metódy bez obsluhy delia na:

- metódy neriadené (pri zabudovaní trúb nie je možné korigovať smer),
- metódy riadené (súpravy s diaľkovým ovládaním s možnosťou vyrovnania smerovej a výškovej odchýlky).

3.1 Neriadené metódy bez obsluhy na čelbe

Podľa ČSN EN 12 889 sa neriadené metódy bez obsluhy na čelbe delia na:

- metódy bez odberu zeminy,
- metódy s odberom zeminy.

Vlastnosti horninového prostredia a dĺžka pretlaku ovplyvňujú presnosť a smerové vedenie. Preto sú neriadené metódy obmedzené len na ukladanie vedení, ktoré nevyžadujú smerovú presnosť. Uplatňujú sa pri zabudovaní trúb neprielezných a prielezných profilov a vo väčšine prípadov sa používajú oceľové trúby. Pri pneumatickom prepichovaní sa najčastejšie používajú trúby z plastov.

Metóda		Priemer trúb DN [mm]	Maximálna dĺžka pretlaku [m]
Bez odberu zeminy	prepichovanie kladivom (krtkom)	≤ 300	≤ 25 (40)*
	horizontálne baranenie s uzavretým čelom	≤ 300	≤ 20
	horizontálne zatlačovaná vodiaca trúba s rozširovacou hlavou	≤ 300	≤ 20 (60)*
S odberom zeminy	horizontálne baranenie s otvoreným čelom	≤ 1500 (4000)*	≤ 100
	horizontálne vŕtanie so súčasným zatlačovaním potrubia	≤ 1500	≤ 100
	horizontálne vŕtanie s dodatočným zaťahovaním potrubia	90 - 220	≤ 20
	príklepové vŕtanie	≤ 1000	-
	horizontálne prepichovanie s rozširovacou hlavou	≤ 220	≤ 20

* v optimálnych geologických podmienkach

Tab. 3-1 Neriadené metódy bez obsluhy na čelbe

3.1.1 Metódy bez odberu zeminy

Metóda s prepichovacím kladivom (krtko):

Ø 45-180 mm (300 mm – s rozširovacím plášťom)
 dĺžka max. 25 m (40 m – v prípade ideálnej geológie)
 trúby: PE, PVC, oceľ
 výkon: 10-15 m/hod
 krytie: 12 DN (ale aspoň 1,5 m)

Metóda horizontálneho baranenia s uzavretým čelom:

Ø do 300 mm
 dĺžka max. 20 m
 trúby: oceľ
 výkon: 1-10 m/hod
 krytie: 12 DN (ale aspoň 1,5 m)

Metóda s horizontálne zatlačovanou vodiacou trúbou s rozširovacou (roztlačacou)

hlavou:

Ø do 300 mm
 dĺžka 15-20 m (60 m – v prípade ideálnej geológie)
 trúby: oceľ, PE
 výkon: 1-8 m/hod

3.1.2 Metódy s odberom zeminy

Metóda s horizontálnym baranením s otvoreným čelom:

Ø do 1500 mm (4000 mm – v prípade ideálnej geológie) = súčasné zaťahovanie trúb

trúby: silno stenná oceľ

výkon: 5-20 m/hod

krytie: 2 DN (ale aspoň 1 m)

dĺžka až 100 m

Metóda horizontálneho vŕtania:

a) Súčasné zaťahovanie trúb:

Ø 150-1500 mm

dĺžka max. 60 m (100 m – v prípade ideálnej geológie)

krytie: min. 1 m

výkon: 1-10 m/hod

trúby: oceľ, ŽB, polymérbetón, kamenina, plast

b) Dodatočné zaťahovanie trúb:

Ø 90-220 mm

dĺžka max. 20 m

krytie: min. 1 m

výkon: 1-15 m/hod

3.2 Riadené metódy bez obsluhy na čelbe

Podľa pracovného princípu rozdelil Stein (2003) riadené metódy bez obsluhy na čelbe na:

- metódy s odberom zeminy:
 - mikrotunelovanie,
 - pretlak s vodiacou trúbou (vŕtanie s vodiacim vrtom),

- smerové vŕtanie;
- metódy s roztlačovaním zeminy:
 - metóda s riadeným prepichovaním kladivom (krtkom),
 - metóda horizontálneho vŕtania s nárazovým kladivom.

Najčastejšie nedorozumenia v pojmoch:

- mikrotunelovanie nie je akoukoľvek riadenou bezvýkopovou metódou,
- mikrotunelovanie **nie je** obecný názov pre bezvýkopové technológie,
- pre výraz prepichovanie sa môže používať výraz „zemná raketa“,
- smerové vŕtanie (HDD) nie je totožné s riadeným horizontálnym vŕtaním.

3.2.1 Metódy s odberom zeminy

Mikrotunelovanie:

a) so šnekovým dopravníkom

Ø 250-1000 mm

dĺžka max. 150 m

trúby: rôznych materiálov

krytie: DN (ale aspoň 1 m)

b) s hydraulickou dopravou zeminy

Ø 200-1200 mm

dĺžka max. 150 m

trúby: rôznych materiálov

výkon: 10-20 m/deň

krytie: 2-3 DN (ale aspoň 1,8 m)

Metóda pretlaku s vodiacou trúbou (vrtanie s vodiacim vrtom):

Ø 150-1000 mm

dĺžka max. 100 m

trúby: rôzny materiál

krytie: DN (ale aspoň 1 m)

Metóda smerového vrtania (HDD):

Ø do 1600 mm

dĺžka max. 2000 m

trúby: oceľ, PE

krytie: 10-15 DN

3.2.2 Metódy s roztlačovaním zeminy**Metóda s riadeným prepichovacím kladivom (krtkom):**

Ø do 63 mm

dĺžka max. 70 m

trúby: PE

Metóda horizontálneho vrtania s nárazovým kladivom:

Ø do 250 mm

dĺžka max. 100 m

krytie: max. 5 m

4 Výstavba podzemných vedení metódami s obsluhou na čelbe

4.1 Razenie s použitím tunelovacích štítov

Postup metódy: [8]

- štít je zatlačovaný do zeminy, ktorá je súčasne rozpojovaná a odťazovaná,
- po vysunutí na dĺžku potrebnú na zmontovanie prstenca ostenia sa posun štítu zastaví a zmontuje sa samotný prstenec ostenia.

Štít je modernou verziou hnaného paženia. Môže byť:

- nemechanizovaný,
- čiastočne mechanizovaný,
- komplexne mechanizovaný,
- štíty k razeniu pod hladinou podzemnej vody (pneumatické štítovanie, bentonitové štíty, zeminové štíty - EPB,
- zvláštne štíty (bez koncovej časti, nožové, štíty do skalných hornín, štíty s monolitickým osteníím).

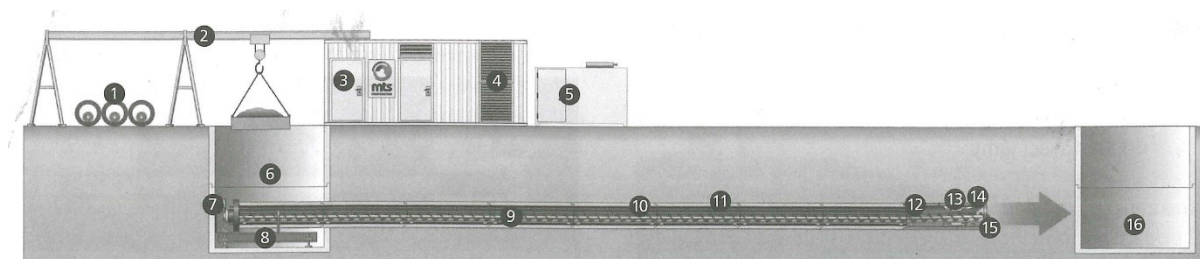
5 Mikrotunelovanie

Definícia mikrotunelovania podľa ČSN EN 12 889 je, že ide o riadenú, jednostupňovú metódu pre pretlačovanie trúb do priemeru DN 1200 mm, riadenú zo stanoviska mimo tunela. Trúby sa ukladajú bezprostredne za mikrotunelovacím strojom.

Mikrotunelovanie je metóda posudzovaná podľa vyhlášky ČBÚ č.55/1996 Sb. Ako „práce prováděná hornickým způsobem“, preto môžu byť tieto práce projektované, zhotovované a dozorované len osobami, ktoré majú oprávnenie príslušného obvodného banského úradu a podliehajú banskej správe podľa vyhlášky ČNR č. 61/88 a následnej a súvisiacej legislatívy. [12]

Mikrotunelovanie sa delí na:

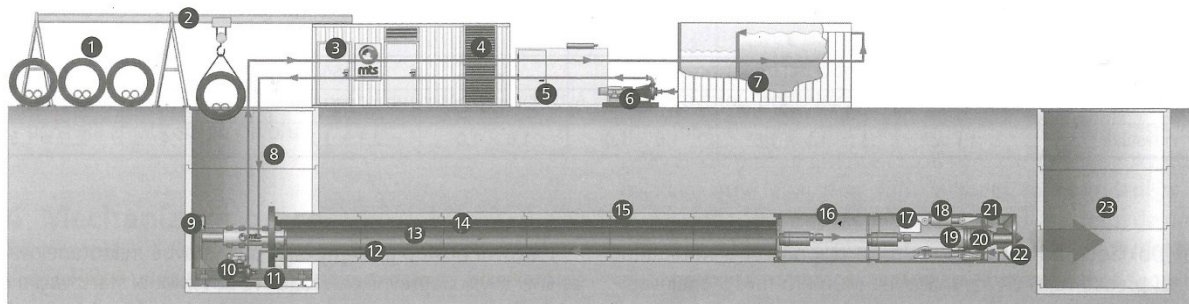
- mikrotunelovanie so šnekovým dopravníkom – kontinuálna doprava vytťaženej zeminy šnekovým dopravníkom do zásobníka v štartovacej šachte, odkiaľ je vertikálne a kontinuálne dopravovaná na povrch. Transportné potrubie sa nachádza vo vnútri pretlačovaného potrubia, kde musí zostať priestor pre laserový paprsok na kontrolu smeru. Je možné sem radiť aj metódu EPB, kedy sa vytťažaná zemina opiera o výrub a vytvára protiváhu tlaku od zeminy do výrubu. Až potom je mechanicky odťazená;



Obr. 5-1 Schéma mikrotunelovania so šnekovým dopravníkom [7]

1 – trúbky, 2 – žeriavová dráha, 3 – kontajner s riadiacou jednotkou, 4 – hydraulický agregát, 5 – zdroj. 6 – štartovacia šachta, 7 – laser, 8 – tlačná stanica, 9 – šnekový dopravník, 10 – laserový paprsok, 11 – zatlačované trúbky, 12 – cieľová doska, 13 – priamočiarý hydromotor, 14 – mikrotunelovací štít, 15 – vrtná hlava, 16 – cieľová šachta

- mikrotunelovanie s hydraulickou dopravou – vytŕažená zemina sa dopravuje hydraulickým systémom na povrch. Smerom k čelbe je dopravované samotné médium a späť je druhým potrubím odvádzaná zmes transportného média a zeminy k separácii, kde sa médium od zeminy oddeľuje a zemina je ukladaná do kontajneru na zeminu;



Obr. 5-2 Schéma mikrotunelovania s hydraulickou dopravou zeminy [7]

1 – trúby, 2 – žeriavová dráha, 3 – kontajner s riadiacou jednotkou, 4 – hydraulický agregát, 5 – zdroj, 6 – čerpadlo, 7 – usadzovacia nádrž, 8 – štartovacia šachta, 9 – laser, 10 – dopravné čerpadlo, 11 – tlačná stanica, 12 – potrubie pre odvod vrtného výplachu so zeminou, 13 – prírodné potrubie pre vrtný výplach, 14 – laserový paprsok, 15 – zatlačované trúby, 16 – zadná časť mikrotunelovacieho štítu, 17 – cieľová doska, 18 – riadiace priamočiare hydromotory, 19 – pohon vrtnej hlavy, 20 – uloženie vrtnej hlavy, 21 – mikrotunelovací štít, 22 – vrtná hlava, 23 – cieľová šachta

- mikrotunelovanie s pneumatickou dopravou zeminy – postup je totožný ako pri hydraulickej doprave, ale namiesto kvapalného média je použitý vzduch. Metóda nie je príliš rozšírená;
- mikrotunelovanie s dopravou zeminy iným mechanickým spôsobom – doprava zeminy prebieha v rozpojenom stave alebo v menších nerozpojených častiach napríklad pomocou škrabákového nakladača, ktorý zeminu dopraví potrubím do štartovacej šachty, kde je ukladaná do kontajnera na vytŕaženú zeminu, odkiaľ je dopravená vertikálne na povrch ako pri šnekovom dopravníku.

6 Okolnosti determinujúce pretlačovanie trúb prostredím

Bezvýkopové metódy výstavby podzemných vedení sa najčastejšie používajú v prostredí veľkých miest a mestskej zástavby v malých hĺbkach pod povrchom, kde panujú podstatne iné geologické podmienky ako pri výstavbe veľkých líniových podzemných stavieb. Bezvýkopové technológie sa tomuto rozdielu samozrejme prispôbujú, čo však neplatí o geologickom prieskume v predprojektovej príprave, ktorý je väčšinou vedený podľa zvyklostí z veľkých líniových podzemných stavieb. [3]

Špecifikom zastavaných území sú geologické podmienky, ktoré sú veľmi komplikované a premenlivé. Zložitosť je zapríčinená, okrem iného, dlhodobou antropogénnou činnosťou a vývojom mesta v rôznych historických obdobiach. Až do hĺbky niekoľko metrov zasahujú spravidla heterogénne navážky tvorené zbytkami stavebného materiálu zmiešaného so zeminou z výkopov a komunálnym odpadom. Najväčším problémom prostredia býva prítomnosť existujúcich sietí (funkčných alebo nefunkčných) a existencia nepredvídaných prekážok (staré základy, piliere mostov, katakomby, hrobky).

6.1 Geologický prieskum

Pre podzemnú výstavbu platia obecné zásady správne vyhotoveného geologického prieskumu. Výskyt nepredvídateľnej prekážky v podzemí, ktorú daná technológia nedokáže prekonať, má pre úspech projektu fatálne následky. Týmito prekážkami môžu byť:

- skalné útvary s tlačnou pevnosťou nad 15 MPa a ojedinelé balvany veľkých rozmerov (1/3 priemeru mikrotunela),
- zbytky zdravých ŽB konštrukcií a prítomnosť oceli (staré larssenové steny),
- pozostatky ľudskej činnosti (plechy, látky, chemické látky, úlomky munície),
- drevo (korene stromov, zbytky kmeňov),

- mokrade, tekuté piesky, rašeliniská,
- vznik prostredia extrémneho charakteru (balvanité štrky s úplne vyplavenou jemnou frakciou, silno plastické bobtnavé íly),
- existencia dutín väčších rozmerov.

Pre úspešný priebeh výstavby nie je nutná napríklad presná znalosť mocnosti, sledu, úklonu alebo presná charakteristika konkrétnych vrstiev, ale je nutné čo najpresnejšie determinovať vyššie uvedené kritické javy, čo je možné nasledujúcimi spôsobmi:

- podrobné štúdium archívnych materiálov,
- presná evidencia existujúcich sietí,
- štúdium geologických správ z konkrétnej lokality,
- zhotovenie vŕtaných, kopaných, hĺbených sond v miestach nejasností,
- vyhotovenie geofyzikálneho prieskumu.

6.1.1 Metódy prieskumu

- štúdium podkladov a obchôdzky lokality,
- vrtný prieskum,
- geofyzikálne metódy prieskumu (seizmické, geoelektrické odporové, georadarové metódy),
- doplnkové metódy prieskumu (lokalizácia kovových a nekovových potrubí, vedení a predmetov).

6.2 Materiál pretlačovaných trúb

Trúby na pretlačovanie sa používajú z nasledujúcich materiálov:

- ŽB ($DN \geq 150$ mm),
- polymérbetón (DN 250 - 2600 mm),
- kamenina (DN 150 - 1200 mm),
- čadič (DN 100 - 600 mm),
- sklolaminát (DN 250 - 3600 mm),
- oceľ (bezšvové $DN \leq 1200$ mm),
- liatina ($DN \leq 1200$ mm),
- PVC a PE ($DN \leq 600$ mm)
- dvojvrstvové („sendvičové“).

Pretlačovacie trúby musia spĺňať kritériá:

- trúby musia prenieť okrem zaťaženia od zeminy a dopravy aj axiálne zaťaženie od pretlačovania,
- vonkajší povrch trúb musí byť hladký a rovný, kvôli minimalizácii trenia medzi zeminou a trúbou,
- vnútorný povrch trúb musí byť hladký a rovný, kvôli minimalizácii hydraulického odporu proti prúdeniu splaškov a iných médií,
- povrch spojov musí byť zľahka pod povrchom vonkajšieho priemeru trúby, aby nedochádzalo k zvýšeniu trenia o zeminu,
- spoj musí byť bezhrdlový, kĺbový a vodotesný aj po zatlačení a musí dovoliť výchylku, aby bolo možné riadiť smer pretlačovania.

Podľa ČSN EN 12 889 musia byť pred pokladaním trúb medzi projektantom a zhotoviteľom prejednané a schválené technické parametre, ktoré je možné prevziať z príslušných noriem alebo od výrobcu trúb:

- vnútorný a vonkajší priemer trúby,
- dĺžka trúb,
- tolerancie a rozmery,
- príslušné zatlačovacie a zaťahovacie sily,
- druh a spôsob uskutočnenia spoja,
- flexibilita v pozdĺžnom smere (polomer ohybu, uhlové vychýlenie spoja).

Trúby sa vyrábajú v dĺžkach 1 – 6 m (najčastejšie 2 – 3 m). Medzi čelá trúb sa vkladá drevotrieskový prstenec pre rovnomerné roznesenie pretlačovacej sily.

Dôležitým detailom pretlačovacích trúb je ich spoj, ktorý musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám:

- musí umožniť prenos axiálnych síl na čo najväčšej ploche,
- rúry musia mať valcovitý tvar – spoj musí byť bezhrdlový,
- nesmie umožniť vzájomné priečne posunutie čiel rúr a tým vznik ozubov, ktoré by zväčšili odpor pri zatláčaní.

6.2.1 Železobetónové trúby

ŽB trúby sú pri pretlačovaní používané najčastejšie. Vyrábané sú so svetlosťou DN 800 – 3000 mm, na špeciálnu objednávku aj s väčším priemerom. Vzhľadom k veľkým axiálnym silám a vrcholovým tlakom sú navrhované masívne konštrukcie a používaný kvalitný betón. Vyžadovaný je betón s pevnosťou v tlaku viac ako 40 – 50 MPa. V práci boli zvolené ŽB trúby na pretlačovanie firmy Prefa Brno a.s.

DN [mm]	$d_{a,min}$ [mm]	$d_{i,max}$ [mm]	b_{LD} [MPa]	tlačná sila [kN]
800	1060	800	50	2008
1000	1280	1000	50	2708
1200	1500	1200	50	3498
1400	1820	1400	50	6259
1600	2000	1600	50	6609
1600	2040	1600	50	7468
1800	2200	1800	50	7343
1800	2240	1800	50	8289
2200	2640	2200	50	9930

Tab. 6-1 Železobetónové trúby na pretlačovanie (Přefa Brno) [14]



Obr. 6-1 Pretlačovanie železobetónových trúb (Přefa Brno) [14]

6.2.2 Trúby z polymérbetónu

Trúby z polymérbetónu riešia nedostatky ŽB trúb, ako veľká hmotnosť, nedostatočná odolnosť voči obrusu a zvýšenej chemickej agresivite. Polymérbetón je kompozitný materiál, ktorý sa skladá z kremičitých minerálnych látok a polyesterovej živice. Dosahuje pevnosť v tlaku až 120 MPa. Vyrábajú sa so svetlosťou DN 250 – 2600 mm. V práci boli zvolené polymérové trúbky na pretlačovanie firmy Meyer – POLYCRETE z Nemecka.

DN [mm]	d _{a,min} [mm]	d _{i,max} [mm]	b _{LD} [MPa]	tlačná sila [kN]
250	360	250	90	580
300	400	300	90	600
400	550	400	90	1430
500	660	500	90	1800
600	760	600	90	2090
700	860	700	90	2250
800	960	800	90	2650
900	1100	900	90	3760
1000	1185	1000	90	3680
1000	1280	1000	90	6150
1200	1485	1200	90	6280
1400	1720	1400	90	7930
1600	1940	1600	90	10250
1800	2160	1800	90	12080
2000	2400	2000	90	15080
2200	2630	2200	90	18570
2400	2870	2400	90	21980
2600	3100	2600	90	25060

Tab. 6-2 Polymérbetónové trúbky na pretlačovanie (Meyer-POLYCRETE) [15]



Obr. 6-2 Pretlačovanie polymérbetónových trúb (Meyer-POLYCRETE) [15]

6.2.3 Trúby z kameniny

Kameninové trúby na pretlačovanie sú dostupné so svetlosťou DN 150 – 1200 mm, s pevnosťou v tlaku 100 MPa. V práci boli zvolené kameninové trúby na pretlačovanie firmy Steinzeug-Keramo s.r.o.

DN [mm]	$d_{a,min}$ [mm]	$d_{i,max}$ [mm]	b_{LD} [MPa]	tlačná sila [kN]
150	186	149	100	150
200	244	199	100	300
250	322	250	100	600
300	374	299	100	700
400	528	400	100	1700
500	632	498	100	2050
600	723	599	100	2150
700	827	695	100	2650
800	921	792	100	2900
1000	1218	1056	100	4600
1200	1408	1249	100	5150

Tab. 6-3 Kameninové trúby na pretlačovanie – nové podklady (Steinzeug-Keramo) [16]

DN [mm]	$d_{a,min}$ [mm]	$d_{i,max}$ [mm]	b_{LD} [MPa]	tlačná sila [kN]
150	186	149	100	210
200	244	199	100	350
250	322	250	100	810
300	374	299	100	1000
400	517	400	100	2200
500	620	498	100	2700
600	723	601	100	3100
700	827	695	100	3300
800	921	792	100	3700
1000	1218	1056	100	5700
1200	1408	1249	100	6400

Tab. 6-4 Kameninové trúby na pretlačovanie – staršie podklady (Steinzeug-Keramo) [16]



Obr. 6-3 Keramické trúby na pretlačovanie (Steinzeug-Keramo) [16]

6.2.4 Trúby zo sklolaminátu

Pre metódy pretlačovania sú vhodné a často používané trúby zo sklolaminátu. Sklolaminát je kompozitný materiál, ktorý sa skladá z polyesterovej živice, reaktívneho tužidla a jemne mletého kremičitého piesku, kremičitanu hlinitého alebo mletého vápenca. Vyrábajú sa trúby s vonkajším priemerom 272 – 3600 mm. Pevnosť materiálu v tlaku je až 90 MPa, čo umožňuje znížiť hrúbku stien oproti ŽB až o 2/3. Trúby sú podstatne ľahšie ako ŽB trúby, majú vysokú odolnosť voči chemickej agresivite prostredia a malú obrusnosť. V práci boli zvolené sklolaminátové trúby na pretlačovanie najznámejšej firmy HOBAS CZ s.r.o.



Obr. 6-4 Pretlačovanie sklolaminátových trúb (HOBAS) [13]

DN [mm]	d _{a,min} [mm]	d _{i,max} [mm]	b _{LD} [MPa]	tlačná sila [kN]
224	272	224	90	297
268	324	268	90	452
312	376	312	90	638
323	401	323	90	779
341	427	341	90	950
386	478	386	90	1173
405	501	405	90	1302
428	530	428	90	1492
444	550	444	90	1640
500	616	500	90	2055
526	650	526	90	2352
582	718	582	90	2915
608	752	608	90	3263
664	820	664	90	3802
716	860	716	90	3654
770	924	770	90	4265
800	960	800	90	4615
890	1026	890	90	4118
953	1099	953	90	4752
1097	1229	1097	90	5951
1144	1280	1144	90	4983
1204	1348	1204	90	5608
1282	1434	1282	90	6323
1341	1499	1341	90	6904
1373	1535	1373	90	7296
1476	1638	1476	90	7734
1552	1720	1552	90	8075
1686	1842	1686	90	8513
1775	1937	1775	90	8793
1877	2047	1877	90	9606
1980	2160	1980	90	10573
2062	2250	2062	90	11852
2200	2400	2200	90	13548
2249	2453	2249	90	14157
2343	2555	2343	90	15425
2746	3000	2746	90	20462
3016	3270	3016	90	21951
3322	3600	3322	90	27598

Tab. 6-5 Sklolaminátové trúby na pretlačovanie (HOBAS) [13]

7 Analýza mechaniky procesu pretlačovania trúb prostredím

Spracovávateľ projektu výstavby podzemného vedenia musí zohľadniť, že:

- najjednoduchšie pretláčanie je v priamom smere,
- pretlačovať sa má proti spádu (pozdĺžny sklon min. 0,5 %, max. 5 %), [8]
- pretlačovať nie je možné úplne presne, preto je treba dohodnúť so zadávateľom dovolené tolerancie,
- prevádzkové šachty je prospešné zabudovať do pracovných a cieľových šácht.

Pri pretlačovaní môžeme v závislosti na dĺžke pretlaku, maximálnej tlačnej kapacite pretlačovacej súpravy, priemeru trúb a geologických podmienkach uplatniť niektorý z nasledujúcich postupov: [7]

- pretlačovanie bez zmenšovania trenia,
- pretlačovanie so zmenšovaním trenia,
- pretlačovanie s použitím tlačných medzistaníc,
- špeciálne metódy pretlačovania.

7.1 Pretlačovanie bez zmenšovania trenia

Tento postup je zvolený pri realizácii krátkych pretlakov z trúb prielezných prierezov. Používajú sa jednoduché súpravy pre neriadené pretlačovanie. Veľkosť potrebnej zatlačovacej sily závisí predovšetkým na tlaku zeminy dosadajúceho na potrubie a jeho nárast je funkciou času. Pri plynulom a rýchlom postupe sa v zemine vytvorí klenba, ktorá dočasne stabilizuje oblasť nadvýlomu. Veľmi nepriaznivé je prerušenie prác v lepkavých zeminách, kedy zemina k potrubiu priľne a k opätovnému spusteniu je za potreby niekoľkonásobne väčšia sila, ako pred prerušením prác.

7.2 Pretlačovanie so zmenšovaním trenia

Maximálna použiteľná zatlačovacia sila je limitovaná tlačnou kapacitou súpravy, únosnosťou zatlačovaných trúb na axiálny tlak a schopnosťou zeminového masívu za opornou stenou rozniesť reakcie od zatlačovacej sily. Pri pretlačovaní väčších dĺžok vedení je nutné orientačne spočítať potrebnú pretlačovaciu silu pre overenie, či je možné pretláčať bez zmenšovania trenia alebo pristúpiť k použitiu mazacích médií, keďže plášťové trenie u dlhých pretlakov má rozhodujúci podiel na veľkosti pretlačovacej sily.

K znižovaniu plášťového trenia sa v súčasnosti používa výhradne bentonitová suspenzia, ktorá sa vháňa do nadvýlomu. Musia byť splnené nasledujúce podmienky:

- všetky trúby musia byť obalené mazacou suspenziou po celom obvode,
- mazacia suspenzia musí výrub podopierať, preto musí byť nadvýlom vyplnený ešte pred dosadením nadložia na trubné vedenie,
- injektážny tlak má byť zladený s tlakom nadložia, aby nedochádzalo k jeho nadvihnutiu,
- mazacia suspenzia nesmie byť zdravotne závadná,
- viskozita mazacej suspenzie musí byť zladená s priepustnosťou zeminového masívu, aby neunikala do pórov v zemine,
- mazacia suspenzia má byť behom pretlačovania tixotropná (schopnosť stať sa behom zatlačovania tekutou a v pokojnom stave meniť konzistenciu na gél).

7.3 Pretlačovanie s použitím tlačných medzistaníc

Tlačné medzistanice sú používané v prípade, kedy ani použitím kvalitných mazacích suspenzií nemožno očakávať realizáciu pretlačovania požadovanej dĺžky z jednej pracovnej šachty a kde v trase pretlačovania nie je vhodné miesto pre vybudovanie medziľahlej pracovnej šachty. V takomto prípade sa trúby s použitím mazacej suspenzie zatláčajú, kým odpor proti zatlačovaniu nedosiahne 80 - 90 % maximálnej tlačnej sily. Potom sa v pracovnej šachte na koniec poslednej zatlačovacej trúby nasunie plášť prvej medzistanice a vzadu sa do neho

zasunie nová trúba. Pretlačovanie pokračuje spôsobom, že predný úsek sa posunie vpred krátkymi krokmi pomocou medzistanice a nová trúba pomocou hlavnej tlačnej stanice. Pri opätovnom náraste odporu proti pretlačovaniu sa postup opakuje s pridaním novej tlačnej medzistanice.

Teoreticky je pri použití množstva medzistaníc možné pretlačiť podzemné vedenie ľubovoľnej dĺžky. Praktické skúsenosti však dokazujú, že použitie viac ako dvoch medzistaníc je ne hospodárne (postup sa striedavým zatlačovaním spomaľuje).

7.4 Špeciálne metódy pretlačovania

Pretlačované sú aj ŽB nekruhové prierezy (pravouhlé, vyklenuté), ktoré majú svoje výhody aj nevýhody.

Výhody:

- pravouhlý prierez sa jednoduchšie napojí na príľahlé úseky, budované v otvorených výkopoch, ktoré sú spravidla tiež pravouhlé,
- ak má pretlačovacia trúba slúžiť ako kolektor, tak je jej nekruhový prierez lepšie využiteľný pre uloženie sietí technického vybavenia.

Nevýhody:

- oproti kruhovému prierezu rovnakej plochy majú väčší povrch, dôsledkom čoho vzniká pri zatlačovaní väčšie trenie,
- natáčanie prierezov pri zatlačovaní.

8 Návrh metódy výpočtu tlačných síl

8.1 Metóda výpočtu tlačných síl

Návrh novej, revolučnej metódy výpočtu tlačných síl nie je predmetom tejto práce, keďže existuje viacero osvedčených metód. Navyše, výpočet tlačnej sily nemožno brať ako presne stanovenú hodnotu. Na výpočet tlačnej sily vplýva množstvo špecifických aspektov, ktoré je v zložité konkrétne popísať. Pretlačovaciu silu ovplyvňuje okrem vlastností zeminy, konštrukcie štítu a druhu pretlačovaných trúb aj mnoho ďalších faktorov, ako je rýchlosť pretlačovania, situácia na povrchu, klimatické faktory, výskyt prekážok v trase atď. Z čoho vyplýva, že presné určenie pretlačovacej sily nie je možné, ale orientačné výpočty sú pre prax dostačujúce.

Táto práca má zjednotiť pohľad na výpočet tlačných síl pri pretlačovaní trúb prostredím mikrotunelovaním. Rovnako má objasniť a navrhnúť bezpečnostné súčinitele pre rôzne materiály pri výpočte.

Výpočet tlačných síl bol preto rozdelený na dve časti, kde sa v prvej časti overovala maximálna dovolená tlačná sila pre konkrétny materiál, ktorú udáva výrobca a v druhej časti bola počítaná tlačná sila pri pretláčaní v konkrétnej geológii.

Výpočet pretlačovacej sily je dôležitá súčasť prípravy pretlačovania väčších profilov na väčšiu dĺžku. Preverujeme ním:

- či je schopná konkrétna pretlačovacia súprava pretlak daných parametrov realizovať bez špeciálnych opatrení,
- či budú pri pretlačovaní potrebné opatrenia na znižovanie plášťového trenia,
- či reakcie od pretlačovacej sily prenesie oporná stena,
- či napätie v trube neprekročí jej únosnosť.

8.2 Výpočet maximálnej dovolenej tlačnej sily

Pretlačovacie trúby je nutné posúdiť z hľadiska ich odolnosti voči pretlačovacej sile F . Maximálna dovolená sila pre priame pretlačovanie trúb sa vypočíta podľa ATV-A 161 nasledovne: [7]

$$F_{dov} = A * \frac{\frac{\beta_{LD}}{\frac{\gamma}{\frac{max_{\sigma}}{\sigma_0}}}}{\quad} \quad (8.2.1)$$

$$A = \frac{(d_{a\ min}^2 - d_{i\ max}^2) * \pi}{4} \quad (8.2.2)$$

kde A je plocha prenášajúca tlak (m^2),

β_{LD} – pevnosť trubného materiálu v tlaku (MPa),

$d_{a\ min}$ – najmenší vonkajší priemer trúby (mm),

$d_{i\ max}$ – najväčší vnútorný priemer trúby (mm),

γ – súčiniteľ bezpečnosti návrhu (-) (tab. 8.3),

$\frac{max_{\sigma}}{\sigma_0}$ – pomer maximálneho prípustného napätia a napätia pri rovnomernom zaťažení trúby (-),

F_{dov} – maximálna dovolená pretlačovacia sila pri priamom pretlačovaní trúb (kN).

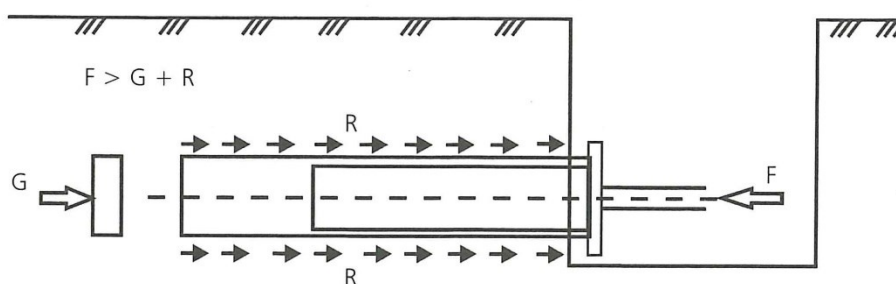
8.3 Výpočet tlačnej sily pri pretlačovaní

Pri pretlačovaní sa musí prekonať odporová sila, ktorá sa skladá z dvoch základných zložiek: [7]

- odporová sila proti vnikaniu rezného štítu do zeminy G ,
- odporová sila od plášťového trenia R .

Tlačná sila F musí byť väčšia ako súčet síl G a R . Odporová sila G proti vnikaniu rezného štítu do zemin sa skladá z troch zložiek:

- odpor pri vnikaní hrotu štítu alebo pretlačovacieho stroja do zemin – G_b ,
- odpor proti vnikaniu vrtnéj hlavy do zemin – G_{vh} ,
- sila spôsobená pažiacim účinkom zemného klina v štíte alebo umelo vyvolaná (vrtným výplachom) – G_p .



Obr. 8-1 Schéma síl pôsobiacich pri pretlačovaní [7]

Pre výpočet odporovej sily G na štíte alebo pretlačovacom stroji existuje niekoľko výpočtových postupov. V práci bol použitý nasledovný výpočet odporovej sily podľa ISTT Pracovnej skupiny 3:

$$G = \frac{1}{4} * \pi * d_a^2 * p_0 \quad (8.3.1)$$

kde d_a je vonkajší priemer štítu (m),

p_0 – odporový tlak pôsobiaci na štít (pre hlinu 328 – 500 kPa; pre piesok 485 – 700 kPa),

G – odporová sila proti vnikaniu rezného štítu do zemin (kN).

Plášťové trenie je možné vypočítať viacerými postupmi:

$$M = \mu * p_r \quad (8.3.2)$$

kde μ je súčiniteľ trenia medzi materiálom trúby a zeminou (-) (tab. 8.1 a tab. 8.2),

p_r – radiálne zaťaženie na vonkajší plášť trúby (kPa),

M – plášťové trenie (kPa).

Druh zeminy	Materiál trúb	
	ocel'	betón
Vlhký piesčitý štrk	0,42	0,47
Vlhký piesok	0,54	0,48
Suchý piesok	0,46	0,42
Vodou nasýtený piesok	0,5	0,43
Prachovitý piesok prirodzenej vlhkosti	0,7	0,6
Hlinitý piesok prirodzenej vlhkosti	0,62	0,54
Prachovitá hlina prirodzenej vlhkosti	0,68	0,5
Tuhoplastická prachovitá hlina	0,75	0,58
Mäkkoplastická prachovitá hlina	0,75	0,67
Tuhoplastický íl	0,54	0,53

Tab. 8-1 Orientačné hodnoty súčiniteľa trenia medzi potrubím a zeminou [9]

Uhol vnútorného trenia	Materiál trúb				
	sklolaminát	polymérbetón	oceľ	ŽB	kamenina
25	0,37	0,4	0,38	0,43	0,42
26	0,39	0,41	0,4	0,45	0,44
27	0,41	0,42	0,42	0,47	0,46
28	0,43	0,43	0,44	0,48	0,48
29	0,45	0,44	0,46	0,5	0,5
30	0,47	0,45	0,48	0,51	0,52
31	0,49	0,46	0,51	0,53	0,54
32	0,51	0,47	0,53	0,55	0,56
33	0,53	0,48	0,55	0,56	0,58
34	0,55	0,49	0,57	0,58	0,6
35	0,57	0,49	0,59	0,6	0,62
36	0,59	0,5	0,61	0,61	0,64
37	0,61	0,51	0,63	0,63	0,66
38	0,62	0,52	0,65	0,65	0,68
39	0,64	0,53	0,67	0,66	0,7
40	0,66	0,54	0,69	0,68	0,72

Tab. 8-2 Orientačné hodnoty súčiniteľa trenia medzi potrubím a zeminou [3]

$$M = a + 3,8 * d_a \quad (8.3.3)$$

kde a je štatistické vyhodnotenie zo 191 mikrotunelovacích projektov s hydraulickou dopravou zeminy (1,53 pre íl; 2,43 pre piesok; 3,43 pre piesok/štrk) (-),

d_a – vonkajší priemer pretlačovanej trúby (m),

M – plášťové trenie (kPa).

V práci bol zvolený postup výpočtu plášťového trenia podľa ISTT Pracovnej skupiny 3 ($M = a + 3,8 * d_a$), kvôli najrelevantnejším výsledkom pri výpočtoch.

K orientačnému stanoveniu veľkosti sily od plášťového trenia je možné použiť nasledovný vzťah:

$$R = M * l_{op} * L \quad (8.3.4)$$

kde M je plášťové trenie (kPa),

l_{op} – obvod plášťa trúby (m),

L – dĺžka pretlaku (m),

R – odporová sila od plášťového trenia (kN).

9 Príklad návrhu výpočtu tlačných síl

9.1 Príklad výpočtu maximálnej dovolenej tlačnej sily

Maximálna dovoľená pretlačovacia sila F_{dov} , ktorú udáva výrobca bola overená podľa ATV-A 161. Výpočet má okrem iného zhodnotiť situáciu z výstavby kanalizácie v Plzni z roku 2013, kde na použitých kameninových trúbach DN 1000 mm pri pretlačovaní vznikli trhliny. Z posudku vyplynulo, že k porušeniu došlo prekročením medznej tlačnej sily, ktorá neprekročila údaje uvedené výrobcom pretlačovacích trúb. Nasledujúci výpočet jednoznačne potvrdil, že údaje maximálnej dovolenej pretlačovacej sily uvádzané výrobcom Steinzeug-Keramo s.r.o. boli uvedené bez bezpečnostných súčiniteľov, čo zjavne neprispieva k jednote a prehľadnosti navrhovania výstavby podzemných vedení. Pred dokončením diplomovej práce boli údaje výrobcu kameninových trúb zmenené na hodnoty podobné výsledkom výpočtu maximálnej dovolenej tlačnej sily v tejto diplomovej práci, čo prispieva k správnosti zvoleného výpočtu (tab. 6.3 a tab. 6.4)

Výpočet maximálnej dovolenej tlačnej sily pre ŽB trúby je možný a aj presnejší podľa normy ČSN EN 1916, ale pre porovnanie výsledkov výpočtov s údajmi poskytovanými výrobcami je zvolená jednotnosť výpočtu podľa ATV-A 161. Výpočet pre sklolaminát sa riadi štandardom ISO 25 780:2011. Overenie maximálnej dovolenej tlačnej sily pre sklolaminát preto nie je predmetom tejto práce.

Pre výpočet bola voľba materiálov nasledovná:

- ŽB (Prefa Brno),
- polymérbetón (Meyer – POLYCRETE),
- kamenina (Steinzeug-Keramo),
- sklolaminát (HOBAS CZ).

Oceľ bola vylúčená z dôvodu najstabilnejších vlastností a nízkej pravdepodobnosti porušenia materiálu trúby. Čadič bol vylúčený kvôli špecifickosti materiálu a zriedkavejšiemu použitiu pri pretláčaní v praxi. PE a PVC boli vylúčené kvôli súčiniteľu trenia medzi materiálom trúby a zeminou, ktorý sa pohybuje u tohto výrobku vo vyšších hodnotách, čo má za následok, pri väčších priemeroch a dĺžkach, zvýšenie trecej sily, ktorej prekonanie by malo za následok zvýšenie pretlačovacej sily nad hodnotu, ktorú dokáže materiál preniesť. Z týchto dôvodov sa PE a PVC nepoužíva pri pretlačovaní podzemných vedení.

Príklad výpočtu pre trúby zo ŽB, DN 1000 mm:

$$A = \frac{(d_{a\min}^2 - d_{i\max}^2) * \pi}{4} = \frac{(1280^2 - 1000^2) * \pi}{4} = 0,510 \text{ m}^2$$

$$F_{dov} = A * \frac{\frac{\beta_{LD}}{\gamma}}{\frac{\max_{\sigma}}{\sigma_0}} = 0,501 * \frac{\frac{50}{1,5}}{\frac{1,8}{3,5}} = 2653 \text{ kN}$$

kde A je plocha prenášajúca tlak (m^2),

β_{LD} – pevnosť trubného materiálu v tlaku (MPa),

$d_{a\min}$ – najmenší vonkajší priemer trúby (mm),

$d_{i\max}$ – najväčší vnútorný priemer trúby (mm),

γ – súčiniteľ bezpečnosti návrhu (-) (tab. 9.3),

$\frac{\max_{\sigma}}{\sigma_0}$ – pomer maximálneho prípustného napätia a napätia pri rovnomernom zaťažení trúby (-), ktorého hodnota bola zvolená 3,5 pre všetky výpočty, kvôli jednotnosti,

F_{dov} – maximálna dovolená pretlačovacia sila pri priamom pretlačovaní trúb (N).

Pre zjednodušenie množstva výpočtov sú výsledky usporiadané v prehľadnej tabuľke.

Materiál	DN [mm]	β_{LD} [MPa]	A [m ²]	F _{dov} [kN] vypočítaná	F _{dov} [kN] udávaná výrobcom
ŽB	1000	50	0,501	2650	2708
polymérbetón	400	90	0,112	1210	1430
	1000	90	0,318	3430	3680
kamenina	400	100	0,093	1450	1700
	1000	100	0,289	4500	4600

Tab. 9-1 Výsledky vypočítaných tlačných síl

Materiál	súčiniteľ bezpečnosti materiálu γ_m
ŽB	1,5
polymérbetón	1,4
kamenina	1,15

Tab. 9-2 Súčinitele bezpečnosti materiálu

Materiál	súčiniteľ bezpečnosti γ
ŽB	1,8
polymérbetón	1,7
kamenina	1,6

Tab. 9-3 Súčinitele bezpečnosti návrhu

9.2 Príklad výpočtu tlačnej sily pri pretlačovaní

Príklad výpočtu pre trúby z kameniny DN 1000 mm a DN 400 mm v prostredí jemného piesku a hrubého štrku. Štíty na pretlačovanie Iseki Unclemole TCC 1000 a Iseki Unclemole TCC 400.

Model	TCC 400	TCC 1000
Vnútorňý priemer [mm]	400	1000
Vonkajší priemer [mm]	545	1220
Dĺžka [mm]	2100	2968
Štandardný priemer šachty [mm]	2500	3750
Minimálny priemer šachty [mm]	1500	3000
Váha [t]	1,05	8,4
Rýchlosť otáčok [ot/min, 50 Hz/60 Hz]	3,6/4,3	2,0/2,4
Krútiaci moment [Nm, 50 Hz/60 Hz]	0,84/0,7	12,4/10,3
Pohon [kW]	3,7	30
Maximálna veľkosť balvanov [mm]	180	400
Profil potrubia pre suspenziu [mm]	50	100

Tab. 9-4 Parametre štítov Iseki Unclemole TCC [18]

Priklad výpočtu pre trúby z kameniny DN 1000 mm v prostredí jemného piesku. Štít Iseki Unclemole TCC 400:

Odporová sila G proti vníkaníu rezného štítu do zeminy:

$$G = \frac{1}{4} * \pi * d_a^2 * p_0 = \frac{1}{4} * \pi * 0,545^2 * 400 = 93,31 \text{ kN}$$

kde d_a je vonkajší priemer štítu (m),

p_0 – odporový tlak pôsobiaci na štít (pre hlinu 328 – 500 kPa; pre piesok 485 – 700 kPa),

G – odporová sila proti vníkaníu rezného štítu do zeminy (kN).

Hodnoty nutné k výpočtu sú teda:

DN 400 mm ($d_a = 545$ mm; $p_0 = 400$ a 600 kPa)

DN 1000 mm ($d_a = 1220$ mm; $p_0 = 400$ a 600 kPa)

DN [mm]	Prostredie	G [kN]
400	jemný piesok	94
400	hrubý štrk	140
1000	jemný piesok	468
1000	hrubý štrk	702

Tab. 9-5 Vypočítané hodnoty odporovej sily G proti vníkaníu rezného štítu do zeminy

Plášťové trenie M :

$$M = a + 3,8 * d_a = 2,43 + 3,8 * 0,528 = 4,44 \text{ kPa}$$

kde a je štatistické vyhodnotenie zo 191 mikrotunelovacích projektov s hydraulickou dopravou zeminy (1,53 pre íl; 2,43 pre piesok; 3,43 pre piesok/štrk) (-),

d_a – vonkajší priemer pretlačovanej trúby (m),

M – plášťové trenie (kPa).

Hodnoty nutné k výpočtu sú teda:

DN 400 mm ($a = 2,43$ a $3,43$ mm; $d_a = 528$ mm)

DN 1000 mm ($a = 2,43$ a $3,43$ mm; $d_a = 1218$ mm)

DN [mm]	Prostredie	M [kPa]
400	jemný piesok	4,5
400	hrubý štrk	5,5
1000	jemný piesok	7
1000	hrubý štrk	8

Tab. 9-6 Vypočítané hodnoty plášťového trenia M

Veľkosti sily od plášťového trenia R :

$$R = M * l_{op} * L = 4,5 * 1,66 * 100 = 735,89 \text{ kN}$$

kde M je plášťové trenie (kPa),

l_{op} – obvod plášťa trúby (m),

L – dĺžka pretlaku (m),

R – odporová sila od plášťového trenia (kN).

Hodnoty nutné k výpočtu sú teda:

DN 400 mm ($l_{op} = 1,66$ m)

DN 1000 mm ($l_{op} = 3,83$ m)

Poznámka: Dĺžka pretlaku L je rovná 100 m.

DN [mm]	Prostredie	R [kN]
400	jemný piesok	740
400	hrubý štrk	905
1000	jemný piesok	2700
1000	hrubý štrk	3085

Tab. 9-7 Vypočítané hodnoty sily R od plášťového trenia

Celkové vyhodnotenie pretlakov. Tlačná sila F musí byť väčšia ako súčet odporovej sily G proti vnikaniu rezného štítu do zeminy a odporovej sily R od plášťového trenia. Z nasledujúcej tabuľky vyplýva, že pri použití trúb zo ŽB je nevyhnutné použitie medzitlačných staníc alebo pretlačovanie so znižovaním trenia použitím mazacej suspenzie. Hodnoty celkového odporu približne odpovedajú reálnym hodnotám odporu prostredia pri pretláčaní, ktoré vyhodnotil dlhoročnými skúsenosťami s pretláčaním externý konzultant Ing. Karel Franczyk, PhD.

Materiál	Priemer trúby [mm]	Prostredie	Odporová sila G [kN]	Odporová sila R [kN]	Celkový odpor [kN]	Dovolená tlačná sila [kN]	Posúdenie
kamenina	400	jemný piesok	94	740	834	1700	vyhovuje
	400	hrubý štrk	140	905	1045	1700	vyhovuje
	1000	jemný piesok	468	2700	3168	4600	vyhovuje
	1000	hrubý štrk	702	3085	3787	4600	vyhovuje
ŽB	1000	jemný piesok	468	2935	3403	2708	nevyhovuje
	1000	hrubý štrk	702	3336	4038	2708	nevyhovuje
polymér-betón	400	jemný piesok	94	781	875	1430	vyhovuje
	400	hrubý štrk	140	955	1095	1430	vyhovuje
	1000	jemný piesok	468	2585	3053	3680	vyhovuje
	1000	hrubý štrk	702	2955	3657	3680	vyhovuje
sklolaminát	400	jemný piesok	94	638	732	1173	vyhovuje
	400	hrubý štrk	140	788	928	1173	vyhovuje
	1000	jemný piesok	468	2281	2749	4752	vyhovuje
	1000	hrubý štrk	702	2627	3329	4752	vyhovuje

Tab. 9-8 Vypočítané hodnoty celkového odporu pri pretláčaní

10 Orientačný výpočet únosnosti opornej steny

Dimenzovanie Opornej steny musí zaistiť roznesenie reakcií tlačných síl na zeminový masív. Reakcie sú často prenášané prostredníctvom tuhej monolitickéj betónovej dosky. Nosnosť masívu je rozhodujúca pre únosnosť systému. Akonáhle dôjde k prekročeniu únosnosti zeminového masívu za opornou stenou, začne sa vytlačovať zeminový klin po vznikajúcich šmykových plochách, nastáva zabáranie opornej steny do zeminy a celkový kolaps pretlačovania.

Orientačný výpočet únosnosti opornej steny približne štvorcového tvaru ($a \times a$) je odvodený na základe matematického a fyzikálneho modelovania na katedre geotechniky SvF STU v Bratislave.

$$S_p = 0,5 * \gamma * W_r * H^3 \quad (10.1)$$

kde γ je objemová tiaž zeminy za opornou stenou (kN/m^3),

W_r – súčiniteľ priestorového účinku (1,5 až 2,0),

H – výška opornej steny (m),

S_p – maximálna únosnosť opornej steny (kN).

Ak únosnosť opornej steny neprenesie reakciu od pretlačovacej sily, tak môžeme únosnosť opornej steny zväčšiť:

- zväčšením plošných rozmerov steny, hrúbky a stupňa vystuženia, zošíkmením zadnej plochy, votknutím pod dno pracovnej šachty,
- spriahnutím paženia šachty s opornou stenou, opatreniami na zvýšenie únosnosti zeminy za opornou stenou (injektáž, priťaženie povrchu).

Odporúča sa pripustiť približne 60% z deformácie na medzi únosnosti, kvôli namáhaniu piestníc hydromotorov na ohyb pri veľkých deformáciách.

11 Záver

V súčasnosti je mikrotunelovanie a celkovo bezvýkopové technológie stále viac využívané, čo však neznamená, že mikrotunelovanie je metóda použiteľná pre akékoľvek podmienky. Mikrotunelovanie, ako aj ostatné metódy, má svoje podmienky použitia. Neoddeliteľnou súčasťou projektu je inžinierskogeologický prieskum, ktorého podcenenie môže mať fatálne dôsledky na výsledok projektu.

V úvode práce som písal o rozvoji vedy a techniky koncom minulého storočia, ktorý priniesol vznik bezvýkopových technológií a mikrotunelovania. Rozvoj sa nezastavil, pokračuje ďalej a je sprevádzaný a ovplyvňovaný všetkými obormi ľudskej činnosti. Úroveň nášho pracovného a životného prostredia sa zmenila k nepoznaniu, čo možno demonštrovať na klasicky vykonávaných baníckych metódach, ktoré je dnes možné vidieť často už len na archívnych záberoch.

V prvých kapitolách som popisoval súčasný stav a rozdelenie bezvýkopových technológií. V nasledujúcich kapitolách som analyzoval proces pretláčania a jeho determinujúce podmienky.

V kapitolách venovaných výpočtom, ktoré sú hlavnou časťou tejto práce, som zvolil z viacerých možností výpočtových metód metodiku podľa ISTT. Vo zvolenej metóde som určil vlastné bezpečnostné súčinitele návrhu a materiálov, ktoré slúžia len ako moje odporúčenie a nemajú túto metódu meniť. Výpočet maximálnej dovolenej tlačnej sily jednoznačne potvrdil, že u jedného výrobcu kameninových trúb na pretláčanie neboli zohľadnené bezpečnostné súčinitele. Výrobca toto tvrdenie nepriamo potvrdil zmenou materiálov behom dokončenia práce. V ďalšej časti výpočtov som počítal odpor prostredia voči pretlačovaniu trúb s ohľadom na rôzne prostredie, materiál a priemer trúb.

V závere 9. kapitoly sa nachádza celkové zhodnotenie vypočítaného odporu pri pretlačovaní, z ktorého vyplýva možnosť úspechu projektu. Ak má investor možnosť výberu materiálu a priemeru pretlačovaných trúb, tak môže eliminovať dodatočné nežiadúce náklady (ako napríklad použitie mazacej suspenzie, použitie medzitlačných staníc).

Priaznivé prostredie je pre geotechniku akékoľvek prostredie, v ktorom bol uskutočnený precízny geotechnický prieskum. Prostredie môže byť veľmi nepriaznivé, avšak, ak sa vie geotechnik naň pripraviť, dokáže ho bez väčších problémov prekonať. Preto je nemožné prostredie klasifikovať ako najhoršie respektíve najlepšie. Taktiež aj celý výpočet tlačných síl nie je možné brať ako jasnú vypočítanú hodnotu, ale skôr ako doporučený odhad, pri ktorom zohráva veľkú rolu osobná odborná skúsenosť.

Pri výpočtoch som zistil, že pri použití bezpečnostného súčiniteľa materiálu rovného 2 získam približne totožné hodnoty maximálnych dovolených tlačných síl, ktoré pri projektoch používajú odborníci s dlhoročnými skúsenosťami s pretláčaním. Práve tieto sily by mali byť determinujúce pre projektanta a tvoriť spodnú hranicu intervalu pre maximálnu dovolenú tlačnú silu. Horná hranica intervalu je maximálna dovolená tlačná sila udávaná výrobcom.

Na úplný záver by som rád poďakoval za ochotu pri konzultáciách externému konzultantovi Ing. Karlovi Franczykovi, PhD., bez ktorého by táto práca nevznikla. Taktiež by som rád poďakoval aj môjmu vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Karlovi Vojtasíkovi, CSc.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] TURČEK, Peter, Jozef HULLA, Ivan VANÍČEK, Jan MASOPUST a Alexandr ROZSYPAL. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga, 2005, 302 s. ISBN 80-807-6023-3.
- [2] HULLA, Jozef, Peter TURČEK, František BALIAK a František KLEPSATEL. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2002, 254 s. ISBN 80-889-0542-7.
- [3] NAJAFI, Mohammad. *Trenchless technology: planning, equipment, and methods*. New York: McGraw-Hill, c2013, xxiv, 582 s. ISBN 978-0-07-176245-8.
- [4] STEIN,D.; MÖLLERS,K.; BIELECKI, R. *Microtunnelling: Installation and Renewal of Nonman-Size Supply and Sewage Lines by the Trenchless Construction Method*. Berlin: Ernst and Sonh, 1989. 352s. ISBN 3-433-01201-6.
- [5] FRANCZYK, K. *Vybrané problémy mikrotunelování*. Ostrava, 2008. 108 s., 16 s. příl. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství. Vedoucí práce prof. Ing. Aldorf Josef, DrSc.
- [6] ŠIMEK, Jiří. *Mechanika zemin*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990, 387 s. ISBN 80-03-00428-4.
- [7] KLEPSATEL, František, Markéta TEUCHNEROVÁ a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2007, 144 s. ISBN 978-80-8076-053-3.
- [8] KLEPSATEL, František, Martin MARCINČÁK a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Bezvýkopová výstavba podzemních vedení: aktualizované informace pro technické, marketingové a vzdělávací využití*. 1. vyd. Praha: Gas, 1996, 227 s.
- [9] KLEPSATEL, František a Matej ČULÍK. *Bezvýkopová výstavba podzemních vedení*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1986, 304 s.
- [10] ALDORF, Jozef. *Geotechnické stavby*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1984, 305 s.

- [11] ČSN EN 12 889/2001 - Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení
- [12] Zákon ČBÚ č. 55 / 1996 Sb.
- [13] <http://www.hobas.cz/> [cit. 2015-10-28]
- [14] <http://www.prefa.cz/> [cit. 2015-10-28]
- [15] <http://www.meyer-polycrete.com/> [cit. 2015-10-28]
- [16] <http://www.steinzeug-keramo.com/> [cit. 2015-10-28]
- [17] <http://www.tracto-technik.com/> [cit. 2015-10-28]
- [18] <http://www.isekimicro.com/> [cit. 2015-10-28]

ZOZNAM OBRÁZKOV

OBR. 2-1 PREHLAD BEZVÝKOPOVÝCH METÓD VÝSTAVBY PODZEMNÝCH VEDENÍ PODĽA ČSN EN 12 889/2001 [11].....	15
OBR. 5-1 SCHÉMA MIKROTUNELOVANIA SO ŠNEKOVÝM DOPRAVNÍKOM [7] ...	22
OBR. 5-2 SCHÉMA MIKROTUNELOVANIA S HYDRAULICKOU DOPRAVOU ZEMINY [7].....	23
OBR. 6-1 PRETLAČOVANIE ŽELEZOBETÓNOVÝCH TRÚB (PREFA BRNO) [14]	28
OBR. 6-2 PRETLAČOVANIE POLYMÉRBETÓNOVÝCH TRÚB (MEYER-POLYCRETE) [15]	30
OBR. 6-3 KERAMICKÉ TRÚBY NA PRETLAČOVANIE (STEINZEUG-KERAMO) [16]	31
OBR. 6-4 PRETLAČOVANIE SKLOLAMINÁTOVÝCH TRÚB (HOBAS) [13].....	32
OBR. 8-1 SCHÉMA SÍL PÔSOBIACICH PRI PRETLAČOVANÍ [7]	39

ZOZNAM TABULIEK

TAB. 3-1 NERIADENÉ METÓDY BEZ OBSLUHY NA ČELBE.....	17
TAB. 6-1 ŽELEZOBETÓNOVÉ TRÚBY NA PRETLAČOVANIE (PREFA BRNO) [14]..	28
TAB. 6-2 POLYMÉRBETÓNOVÉ TRÚBY NA PRETLAČOVANIE (MEYER- POLYCRETE) [15].....	29
TAB. 6-3 KAMENINOVÉ TRÚBY NA PRETLAČOVANIE – NOVÉ PODKLADY (STEINZEUG-KERAMO) [16]	30
TAB. 6-4 KAMENINOVÉ TRÚBY NA PRETLAČOVANIE – STARŠIE PODKLADY (STEINZEUG-KERAMO) [16]	31
TAB. 6-5 SKLOLAMINÁTOVÉ TRÚBY NA PRETLAČOVANIE (HOBAS) [13]	33
TAB. 8-1 ORIENTAČNÉ HODNOTY SÚČiniteľa TRENIa MEDZI POTRUBÍM A ZEMINOU [9].....	40
TAB. 8-2 ORIENTAČNÉ HODNOTY SÚČiniteľa TRENIa MEDZI POTRUBÍM A ZEMINOU [3].....	41
TAB. 9-1 VÝSLEDKY VYPOČÍTANÝCH TLAČNÝCH SÍL.....	45
TAB. 9-2 SÚČinitele BEZPEČNOSTI MATERIÁLU	45
TAB. 9-3 SÚČinitele BEZPEČNOSTI NÁVRHU.....	45
TAB. 9-4 PARAMETRE ŠTÍTOV ISEKI UNCLEMOLE TCC [18].....	46
TAB. 9-5 VYPOČÍTANÉ HODNOTY ODPOROVEJ SILY G PROTI VNIKANIU REZNÉHO ŠTÍTU DO ZEMINY	46
TAB. 9-6 VYPOČÍTANÉ HODNOTY PLÁŠŤOVÉHO TRENIa M.....	47
TAB. 9-7 VYPOČÍTANÉ HODNOTY SILY R OD PLÁŠŤOVÉHO TRENIa	48
TAB. 9-8 VYPOČÍTANÉ HODNOTY CELKOVÉHO ODPORU PRI PRETLÁČANÍ	48